Die Gestalt der Markstrahlen im sekundären Holze

von

K. ZIJLSTRA.
Assistent am botanischen Laboratorium der Universität Groningen.

(Hierzu drei Tafeln und eine Textfigur.)

Einleitung.

Wenn wir in den Lehrbüchern der Botanik nachschlagen, was über die Markstrahlen angegeben wird, sehen wir, dass zwar manches gesagt wird über die Höhe und Breite, dass auch über die sehr allgemein in Tangentialschnitten sichtbare Spindelform gesprochen wird, aber über die Frage, wie ein Markstrahl aussehen würde, wenn wir ihn in seiner ganzen radialen Ausdehnung zu Tage gebracht hätten, bekommen wir keine Auskunft. Es werden zwar oft perspektivische Figuren von Stämmen gegeben [1]), in

1) Frank. Lehrbuch der Botanik I, 1892, p. 199, Fig. 141.
Luerssen. Grundzüge der Botanik, 5. Aufl. 1893, p. 62, Fig. 38.
Vines. A students' textbook of Botany, 1895, p. 201, Fig. 152.
Belzung. Anatomie et physiologie végétales, 1900, p. 346, Fig. 488.
Warming. Den Almindelige Botanik, 1900, p. 299, Fig. 341.
Bonnier et Sablon. Cours de Botanique, 1905, p. 209, Fig. 283.
Chodat. Principes de Botanique, 1907, p. 247, Fig. 242.
Strasburger, Noll, Schenck, Karsten. Lehrbuch der Botanik, 9. Aufl. 1908, p. 111, Fig. 139.

denen eine Radialfläche mit Markstrahlen sichtbar ist, aber es sind immer nur ganz jungen Stämmen entlehnte Beispiele. Sie sind zudem nicht nach der Natur angefertigt, sondern schematisch und mutmasslich wohl nicht sehr genau mit der Wirklichkeit übereinstimmend. Sie zeigen ausser dem Mark viele Markstrahlen, von denen einige erst ziemlich spät im sekundären Holze entstanden sind, andere aber mit dem Mark zusammenhangen. Die Höhe jedes Markstrahls ist in solchen Figuren konstant und der Augenschein lehrt auch, dass ein Markstrahl in wenigen Jahren in dieser Hinsicht nur wenig variiert. Auf die Frage, wie es aber mit der Höhe der Markstrahlen im sekundären Holze alter Stämme steht, ob sie vielleicht nach dem Kambium zu höher oder niedriger werden, finden wir in den Lehrbüchern keine Antwort. Es ist dies auch leicht zu erklären, denn in der Literatur finden sich nur sehr unvollständige Höhenangaben, welche sich nur auf eine oder sehr wenige Messungen desselben Markstrahls beziehen.

Der einzige, der über eine Höhenzunahme der Markstrahlen berichtet, ist Nördlinger[1]), der in seiner Arbeit die Höhe für viele Fälle in Millimetern angibt. Diese Zahlen betrachtet er aber nur als mittlere Werte, denn er sagt: „Ganz scharfe Angaben lassen sich übrigens nirgends machen, weil Höhe und Breite der Spiegel in deren Verlauf zur Rinde zunehmen." Aber in seinem Buche wird nicht angegeben, wie er zu diesem Ergebnis gekommen ist.

Uebrigens fehlen in der Literatur Angaben über das Verhalten der Höhe der Markstrahlen während ihres Verlaufs durch viele Jahresringe vollkommen. Nur findet man bei verschiedenen Autoren Angaben über die Höhe von

1) **Nördlinger. Die technischen Eigenschaften der Hölzer, Stuttgart, 1860, p. 9.**

Markstrahlen, je an einer einzigen Stelle derselben gemessen.

Th. Hartig [1]) zum Beispiel gibt die Höhe vieler Markstrahlen an in der Anzahl der Stöcke, das heisst der Zellenlagen, ausgedrückt. Auch Blits [2]) hat in einer einzigen Tangentialfläche gemessen bei tropischen Hölzern, von deren er viele Höhen angibt. Essner [3]) hat die Höhe von Coniferenmarkstrahlen in der Anzahl der Zellen bestimmt, aber wenn er auch die Werte für viele Markstrahlen in verschiedenen Jahresringen gibt, so hat er doch nie die Höhen desselben Markstrahls in allen diesen Jahresringen gemessen. Ausführlicher als in den meisten Lehrbüchern der Fall ist, spricht Strasburger [4]) in seinem Lehrbuche der Botanik über die Markstrahlen, aber nur beiläufig über ihre Höhe; bestimmte Messungen werden nicht angegeben, ebensowenig wie in seinen „Leitungsbahnen" [5]), wo die Rede ist von *Aristolochia* und *Vitis*, die in 3,5 cm dicken Stämmen „vielfach nicht 0,5 cm" erreichende Markstrahlen haben.

Wenn wir diese spärlichen Angaben sehen, wird es also nicht Wunder nehmen, dass man in den Lehrbüchern keine eingehende Darstellung der Markstrahlgestalt auf Radialflächen dicker Stämme findet.

---

1) Th. Hartig. Naturgeschichte der forstlichen Culturpflanzen Deutschlands, 1855.

2) Blits. De anatomische Bouw der Oost-Indische IJzerhoutsoorten en van het Djatihout. Bulletin v. h. Koloniaal Museum te Haarlem, No. 19, 1898.

3) Essner. Ueber den diagnostischen Werth der Anzahl und Höhe der Markstrahlen bei den Coniferen. Abh. der Naturf. Ges. zu Halle, Bd. XVI, 1883.

4) Strasburger, Noll, Schenck, Karsten. l. c. p. 120.

5) Strasburger. Bau und Verrichtungen der Leitungsbahnen, 1891, p. 258.

Nicht nur über die Höhenverhältnisse der Markstrahlen in ihrem Verlaufe, sondern auch über das gegenseitige Verhalten der sogenannten grossen und kleinen Markstrahlen und der Markverbindungen findet man in der Literatur nur unsichere Angaben. Bevor ich aber darauf näher eingehe, werde ich mir erlauben, einige Worte über die Terminologie, welche man hier benutzt, zu sagen.

Es werden die Markstrahlen von den meisten Autoren unterschieden in primäre und secundäre. Diese Nomenklatur ist jedoch wenig zutreffend, weil im sekundären Holze doch alle Markstrahlen gänzlich aus sekundären Elementen bestehen. Im Folgenden werde ich deshalb die viel rationellere Nomenklatur De Bary's [1]) anwenden, indem ich die mit dem Mark zusammenhängenden Markstrahlen **grosse** nenne, im Gegensatz zu den **kleinen,** die erst im Laufe des Dickenwachstums des Stammes entstehen.

In den Lehrbüchern sucht man nun auch vergebens nach einer klaren Darstellung des Verhältnisses zwischen den kleinen und den grossen Markstrahlen, und der Beziehungen, die zwischen den grossen Markstrahlen und den Markverbindungen bestehen. Dennoch findet man in der Literatur verschiedene Angaben über diesen Gegenstand, aus denen bei einiger Ueberlegung der wahre Sachverhalt sich feststellen lässt, wenn man auch zugeben muss, dass diese Angaben nur auf gelegentliche und nicht zur Klarlegung des hier besprochenen Sachverhaltes angestellte Beobachtungen sich stützen.

Eine bekannte Tatsache ist es, dass die primären Markverbindungen in ganz jungen Stämmen, im Gegensatz zu den im späteren Holze sich vorfindenden, mindestens

1) De Bary. Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne, 1877, p. 475.

so hoch sind wie die Internodien. Es ist dies leicht abzuleiten aus dem Abschnitt über den Gefässbündelverlauf der Dikotyledonen in De Bary's vergleichende Anatomie [1]). Auch weiter bei der Besprechung der *Casuarinen* sagt dieser Autor, dass der innere, älteste Teil der breiten Markstrahlen, das heisst die Markverbindung, ohne Unterbrechung durch das ganze Internodium geht [2]). Wie ich auch selbst wahrnehmen konnte, ist dies leicht zu sehen an 1-jährigen *Buchen*- und *Aristolochia*zweigen.

Man könnte nun aber nach De Bary, § 134, zu der Meinung kommen, dass dieser Zustand bei mehreren Pflanzen auch in den später gebildeten Teilen des Holzes bleibend ist, z. B. bei *Berberis, Casuarinen, Aristolochia, Atragene, Clematis;* oder nach Strasburger [3]) bei vielen *Lianen.* Es erscheint mir aber, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird, sehr fraglich, ob das zutreffend ist, und auch De Bary selbst spricht sich schon an anderer Stelle in diesem Sinne aus, indem er angibt, dass bei *Casuarinen* die breiten Markstrahlen (die in ihrem innersten Teil mit den Markverbindungen identisch sein müssen) nach aussen zu durch ein „spitzmaschiges unregelmässiges Netz kleiner Stränge" geteilt werden [4]). Auch Blits [5]) hat über *Casuarinen*markstrahlen geschrieben, und aus seinen Angaben und Zeichnungen können wir sehen, dass wir hier im späteren Holze keineswegs mit einheitlichen grossen Markstrahlen von gleicher Höhe wie die primären Markverbindungen zu tun haben, sondern nur mit Komplexen hart neben und über einander verlaufender, nicht sehr hoher Markstrahlen.

---

1) De Bary. l. c. § 61.
2) De Bary. l. c. p. 475.
3) Strasburger, Noll, Schenck, Karsten. l. c. p. 120.
4) De Bary. l. c. p. 475.
5) Blits. l. c. p. 22, 25.

Dieselben Beobachtungen finden wir auch schon in der älteren Literatur bei Göppert[1]), der von „Holzzellen" spricht, die die „grossen Markstrahlen" der *Casuarinen* unduliert in tangentialer Richtung durchsetzen; wie weit dies in radialer Richtung der Fall ist, wurde aber nicht von ihm beschrieben, wahrscheinlich weil er nur eine einzige Tangentialfläche beobachtet hatte. Mit den „grossen" Markstrahlen werden hier offenbar die in tangentialen Schnitten sichtbaren Markstrahlkomplexe gemeint, welche man im *Casuarinen*holze oft findet. Göppert gibt eine Zeichnung eines solchen Markstrahlkomplexes in Tangentialansicht, die übereinstimmt mit meinen Zeichnungen von der Zersplitterung eines grossen Markstrahls bei *Aristolochia ornithocephala.*

Aus dergleichen Angaben kann man folgern, dass das Verschwinden der Markverbindungen im späteren Holze darauf beruht, dass dieselben durch die Bildung schief verlaufender Faserbündel in zahlreiche relativ niedrige grosse Markstrahlen aufgelöst werden. Was *Aristolochia* betrifft, so habe ich durch eigene eingehende Untersuchung feststellen können, dass die hohen Markverbindungen nach aussen indertat dergleiche bedeutende Veränderungen erleiden.

Analoge Tatsachen, wie die eben bei *Casuarinen* und *Aristolochia* besprochenen, findet man öfters in der Literatur. Die Autoren teilen dann mit, dass in den primären Markverbindungen sogenannte „Zwischenbündel" auftreten, die meist mit einander anastomosieren und also jede einzelne Markverbindung in viele, weniger hohe, oft auch viel dünnere Markstrahlen verteilen.

Bei Th. Hartig finden wir z. B. einige solche Angaben über eine „Zersplitterung der grossen Markstrahlen durch

1) Göppert. Bemerkungen über den anatomischen Bau der Casuarinen. Linnaea XV, 1841—42.

zwischentretenden Holzfasern"[1]) bei *Carpinus, Corylus* und *Alnus*. Gewiss haben wir auch hier zu tun mit einer Auflösung im oben erörterten Sinne.

Aehnliches wie Göppert von den *Casuarinen* sagt, beschreibt Sanio[2]) auch von *Clematis Vitalba*, nämlich das „in schräger Richtung auftreten von Gefässbündeln in den grossen, mehrreihigen Markstrahlen". Die Auflösung der „scheinbar breiten Markstrahlen" von *Carpinus betulus* „in sehr genäherte feine Strahlen" wird auch von Moeller[3]), sei es nur beiläufig, angedeutet; ebenso von Stam[4]), der auch noch *Alnus glutinosa* als Beispiel anführt.

Strasburger[5]) hat bei *Vitis, Aristolochia, Akebia* und *Clematis* in den „fortlaufenden" (d. h. sehr hohen) Markstrahlen schräge Stränge, aus Tracheiden, Holzparenchym und auch weiten Gefässen bestehend, gefunden, die nach ihm schräge Brücken darstellen, die die einzelne Holzstränge innerhalb des Internodiums in Verbindung bringen.

Schliesslich ist noch bei zwei Autoren, Büsgen[6]) und Marshall Ward[7]), die Rede von aus zahlreichen kleineren zusammengesetzten grösseren Markstrahlen im *Carpinus*holz; es sind dies aber auch nur kurze Erwähnungen, denen keine eingehende Untersuchung zu Grunde liegt.

Man kann also sagen, dass zwar in der Literatur die Frage nach dem späteren Verhalten der ursprünglichen Markverbindungen öfters gestreift wurde, und die obigen

1) Th. Hartig. l. c. p. 257, 366.

2) Sanio. Botan. Zeitung, 1863, p. 127.

3) Moeller. Beitr. zur vergl. Anatomie d. Holzes. Denkschr. d. kaiserl. Akad. d. Wissenschaften. Wien, Bd. 36, 1876, p. 321,

4) Stam. Het hout, 1888, p. 341, 374.

5) Strasburger. Leitungsbahnen, p. 258, 602.

6) Büsgen. Bau und Leben unserer Waldbäume, 1897, p. 74.

7) Marshall Ward. Timber and some of its diseases, 1897, p. 44.

Literaturangaben machen. es auch sehr wahrscheinlich, dass die ursprüngliche Markverbindung aufgelöst wird in mehrere niedrigere, bisweilen auch weniger breite Markstrahlen, die jedoch alle mit dem Mark zusammenhangen bleiben, aber die dieser Auffassung zu Grunde liegenden Tatsachen sind meist nur gelegentlich in einzelnen Tangentialflächen gemachte Beobachtungen. Die einzige Methode, welche hier zum Ziele führen könnte, nämlich die Beobachtung einer Markverbindung oder eines Markstrahls in seiner ganzen radialen Ausdehnung, hat man bisher nie angewendet und so kann es nicht wundern, dass bestimmte Vorstellungen über diesen Gegenstand bis jetzt in den Lehrbüchern fehlen.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist nun, mit Hilfe dieser Methode sicher festgestellte Tatsachen über das Verhalten der Markverbindungen und Markstrahlen zu gewinnen.

An erster Stelle wird die Lösung der Frage versucht werden, wie sich die Markstrahlen verhalten, wenn wir sie in ihrer ganzen radialen Ausdehnung untersuchen; nämlich ob ein Markstrahl überall gleich hoch ist, oder ob die Höhe in den verschiedenen Jahresringen wechselt.

Weil es nicht möglich ist, aus einem alten Stamme einen ganzen Markstrahl unverletzt auszupräparieren, habe ich von einigen Markstrahlen in einem alten *Buchen*- und *Eichen*stamm die Höhe in vielen einander naheliegenden Jahresringen bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stimmen mit der Angabe **Nördlingers** [1]), was die Höhenzunahme der Markstrahlen nach aussen betrifft, überein; übrigens ergab es sich, dass dieselben sich nicht so ganz einfach verhalten.

An zweiter Stelle wird untersucht werden, ob die grossen

1) **Nördlinger.** l. c. p. 9.

und kleinen Markstrahlen noch andere Unterschiede darbieten als den, dass nur die grossen mit dem Mark zusammenhangen und die kleinen erst später entstehen. Schliesslich werden wir die Beziehung zwischen den grossen Markstrahlen und den primären Markverbindungen klarlegen können. Wir werden dabei untersuchen, woher es kommt, dass in Tangentialschnitten des älteren sekundären Holzes keine Spur von den sehr hohen Markverbindungen zurückgefunden wird, die doch so leicht in einem einjährigen abgeschälten Buchenzweig zu sehen sind.

Die Untersuchung der grossen Markstrahlen fand in erster Linie statt bei der Buche, wo auch das Verhältnis zwischen diesen und den Markverbindungen studiert wurde.

Auch die grossen Markstrahlen von *Aristolochia Sipho* wurden untersucht. Obgleich das Holz dieser Liane in seinem Bau sehr verschieden ist von dem der Buche, zeigte sich hier doch eine grosse Uebereinstimmung mit dem Verhalten der grossen Buchenmarkstrahlen. Welche Unterschiede bestehen, wird nachher, bei der Beschreibung der einzelnen Beobachtungen, besprochen werden.

METHODE.

Wie ich oben schon andeutete, ist es unmöglich in einem alten Stamm einen Markstrahl in seiner ganzen Ausdehnung zur Anschauung zu bringen. In einem sehr günstigen Fall, wo schon ein grosser Teil eines Markstrahls durch Spaltung beim Eintrocknen einer Buchenquerscheibe zu Tage gekommen war, habe ich es versucht, ihn weiter zum Vorschein zu bringen, dieses aber sehr bald aufgeben müssen. Auch bei grösster Sorgfalt beim Entfernen der den Markstrahl noch verdeckenden Holzfasern war ich nie sicher, dass keine Teile des Markstrahls selbst weggeschnitten wurden.

Ein anderes Verfahren kann aber sehr gut zu einer klaren Einsicht in die Gestalt des Markstrahls führen. Dieses besteht hierin, dass durch das Holz eines Baumstammes von aussen nach innen gehend, mit gleichen Zwischenräumen stets neue Tangentialflächen blossgelegt werden. Auf der an der Periferie des Stammes liegenden Tangentialfläche wird ein Markstrahl bezeichnet und seine Höhe gemessen. Dieser selbe Markstrahl wird nun auf allen weiter nach innen angefertigten Tangentialflächen wieder aufgesucht und gemessen.

Ich habe diese Methode in der folgenden Weise bei Eiche und Buche angewendet. Aus Querscheiben alter Baumstämme habe ich in radialer Richtung rechteckig prismatische Stücke ausgesägt, so dass die kleinen Endflächen nach der Rinde, beziehungsweise nach dem Marke zugekehrt waren.

Nachdem die Anzahl der Jahresringe in dem Prisma bestimmt war, wurde mit der Säge das ganze Prisma durch den Endflächen parallele, gleich weit voneinander entfernte Schnitte in Scheibchen zerlegt. Diese Scheibchen wurden von aussen nach innen gehend numeriert um Verwechselungen vorzubeugen. Jede nach der Rinde zugekehrte Fläche wurde geglättet durch Abhobeln und nachheriges Abreiben mit Sandpapier [1]). Hierdurch werden die Markstrahlen besonders gut sichtbar; sie heben sich wie dunkle Linien auf dem helleren Hintergrund der Holzfasern hervor.

In der äusseren, dem Kambium zugekehrten Endfläche wählte ich mehrere Markstrahlen aus und jede wurde mit einem in Tusche beigeschriebenen Buchstabe angedeutet.

1) Diese Methode um Holz zu glätten findet man in: Moll und Janssonius. Mikrographie des Holzes der auf Java vorkommenden Baumarten, Bd. I, 1906. p. 23.

Es wurden die so ausgewählten Markstrahlen in allen folgenden polierten Flächen aufgesucht und jeder mit seinem Buchstaben bezeichnet.

Nicht immer ist es leicht, in einer folgenden Tangentialfläche denselben Markstrahl wiederzufinden, denn es können bisweilen viele fast gleiche hart nebeneinander liegen. In solchen Fällen bringt uns die regelmässige Form und die gleiche Grösse der Scheibchen Aushilfe, denn es ist dadurch möglich, die Koordinaten des Ober- und Unterendes des Markstrahls in mehreren vorhergehenden Flächen zu bestimmen, wobei dann eine Ecke der Fläche als Nullpunkt und die hiervon ausgehenden Kanten als Koordinatenaxen fungieren. Auf diese Weise wurde der bezügliche Markstrahl immer mit Sicherheit zwischen anderen aufgefunden.

In jeder Tangentialfläche habe ich die Höhe des Markstrahls mit einem Zirkel gemessen, und sogleich auf Millimeterpapier eingezeichnet, mit Zwischenräumen, die denen der Tangentialflächen gleich waren. Auf dem Millimeterpapier entstanden so zwei Reihen von Punkten, eine obere und eine untere Reihe; die Verbindungslinien der Punkte jeder Reihe stellen also die obere und untere Grenze des Markstrahls dar.

Weil die Figuren der Markstrahlen hier durch Interpolation zustande kommen, ist die Genauheit dieser Methode natürlich abhängig von der Dicke der Scheibchen, die nun so gewählt ist, dass Fehler sehr unwahrscheinlich sind. Dies geht schon hieraus hervor, dass die aufeinander folgenden Messungen meist sehr regelmässig variieren. Auch habe ich in dem oben genannten Fall, wo ein Markstrahl über eine grosse Strecke auf seiner Radialfläche zu sehen war, eine Kontrolle, die es unwahrscheinlich macht, dass die Markstrahlen irgendwo grosse Sprünge machen. Weiter unten bei der Behandlung der kleinen Buchen-

markstrahlen werde ich hierauf noch zurückkommen.

Bei der Untersuchung der grossen Markstrahlen von *Aristolochia* galt der Hauptsache nach dasselbe Prinzip, insofern auch hier die Höhenbestimmungen in Tangentialflächen stattfanden. Nur wurden hier keine Holzprismen ausgeschnitten um sie in tangentiale Stücke zu zerlegen, sondern es wurden die lebenden Stammstücke einfach zuerst entrindet; nach Untersuchung eines bestimmten Markstrahls wurde nun ein überall gleich dickes tangentiales Streifchen Holz entfernt, um in dem so blossgelegten neuen Niveau den Markstrahl weiter zu studieren. Bei dieser letzten Methode war es natürlich leicht, den betreffenden Markstrahl weiter nach innen zu verfolgen, ohne Verwechselungen befürchten zu müssen.

Untersuchungen.

Die Beschreibung der Höhenbestimmungen zerfällt in zwei Hauptteile: 1. werde ich handeln von den *kleinen* Markstrahlen von *Fagus sylvatica* L. und *Quercus Robur* L.; 2. von den *grossen* Markstrahlen von *Fagus sylvatica* L.; daran wird sich die Besprechung einiger Beobachtungen über die Zersplitterung der primären Markverbindungen bei *Aristolochia Sipho* L'Hérit. und *Aristolochia ornitho cephala* Hook. anschliessen.

ABTEILUNG I.

Die kleinen Markstrahlen.

Fagus sylvatica L.

Es stand mir für diese Untersuchung eine Querscheibe eines Buchenstammes mit 56 Jahresringen zur Verfügung. Der Durchmesser war ungefähr 36 cm; Kambium und Bast

waren nicht mehr vorhanden, das Mark war deutlich und es strahlten viele grosse Markstrahlen davon aus; weiter nach aussen fanden sich sehr viele kleine Markstrahlen. Die meisten liefen nicht gerade vom Zentrum nach der Rinde zu, sondern waren mehr oder weniger bogig auf dem Querschnitt. An einer Stelle, wo möglichst viele in ihrer ganzen Ausdehnung ziemlich gerade verliefen, wurde in radialer Richtung ein rechteckiges Prisma ausgesägt, derartig dass sich in der einen Endfläche das Mark, in der anderen aber die Aussenseite des Stammes befand. Die Endflächen waren Quadrate mit 6.5 cm langen Seiten.

Das ganze Prisma wurde nun durch den Endflächen parallele Sägeschnitte in 25 Scheibchen zerlegt; alle Schnitte waren 1 cm voneinander entfernt.

In der Aussenfläche des ersten (äussersten) Scheibchens wurden nun 5 Markstrahlen ausgewählt, welche, wie eine oberflächliche vorläufige Untersuchung lehrte, sehr weit ins Innere des Stammes zu verfolgen waren und diese wurden in allen Scheibchen, so weit sie zu finden waren, mit den Buchstaben *a* bis *e* bezeichnet. Auf welche Weise ich die Messungen ausführte, wurde oben schon besprochen.

Die Resultate der Messungen dieser 5 Markstrahlen finden sich zusammengestellt in den Zeichnungen *a* bis *e* Tafel II, in natürlicher Grösse.

Die gestrichelte Vertikallinie an der rechten Seite der Tafel entspricht dem Mark; die linken Enden der Figuren stimmen mit der Aussenfläche des äussersten Scheibchens überein. Die Zahlen unter den Figuren geben die Nummern der Tangentialflächen der Scheibchen an, in welchen die Messungen stattfanden.

Wir sehen also, dass der Markstrahl *a* erst in Scheibchen No. 22 auftritt, denn in der Tangentialfläche No. 23 ist er noch nicht zu finden; er gehört also zu den kleinen Markstrahlen. Die Höhe beträgt anfangs nur etwa 1 mm

wächst aber langsam im späteren Holze. In der Fläche No. 20 erscheint gerade unter *a* in geringer Entfernung von diesem ein neuer, ungefähr $^3/_4$ mm hoher Markstrahl, der schon in Fläche No. 18 *a* soweit genähert ist, dass beider Grenzen sich gerade einander vorbeischieben, indem sie nur noch durch einzelne schief verlaufende Fasern getrennt bleiben. Das Ganze macht nun im Tangentialschnitt den Eindruck eines einzigen Markstrahls der durch wenige Fasern unterbrochen ist, wie solches in der „Mikrographie des Holzes" von Moll und Janssonius[1]) sehr oft beschrieben ist, bisjetzt für Hölzer aus den Familien der *Dilleniaceae, Anonaceae, Cappariдeae, Violarieae, Bixineae, Pittosporeae, Guttiferae, Ternstroemiaceae,* und *Dipterocarpeae.*

Diese Erscheinung habe ich in den Figuren angegeben durch eine einzige Linie, die also der Stelle entspricht, wo schieflaufende Fasern den scheinbar einheitlichen Markstrahl durchsetzen.

Im Scheibchen No. 13 hört die Unterbrechung auf. In der Fläche No. 13 ist aber eine neue Unterbrechung an einer höheren Stelle sichtbar, die sich bis zum Kambium fortsetzt. Eine zweite Unterbrechung finden wir von der Fläche No. 11 bis zu No. 4; zwischen diese beiden Flächen ist Markstrahl *a* also in 3 Stücke zerlegt.

Wie oben schon gesagt, fingen die 2 niedrigen, frei voneinander entstehenden Markstrahlen an mit einer Höhe von 1 bezw. $^3/_4$ mm. Die definitive Höhe des Markstrahls *a* im 56. Jahresring, wo er aus 2 Teilen zusammengesetzt erscheint, also in der unmittelbaren Nähe des Kambiums, beträgt aber 4,5 mm; das Markstrahlgewebe hat sich also merklich vergrössert.

Die Markstrahlen *b* und *c* zeigen ein ganz anderes Ver-

---

1) Moll und Janssonius. l. c. Bd. I, 1906.

halten; *b* entsteht im selben Scheibchen wie *a*; *c* aber tritt schon viel früher auf, nämlich sehr nahe am Mark, im Scheibchen No. 24. Die Höhe von *b* und *c* ist beim Anfang 0,5 mm bezw. 1 mm, und nimmt auch hier stetig nach aussen zu, um in der äussersten Tangentialfläche gut 2,5 bezw. 3 mm zu erreichen. In diesen beiden Markstrahlen werden keine Unterbrechungen gefunden.

Mehr mit *a* übereinstimmend zeigen sich die Markstrahlen *d* und *e*. Beide fangen sie an im Scheibchen No. 23; wie die obigen mit sehr geringer Höhe, die für *d* in der Tangentialfläche No. 23 nur gut 1 mm, für *e* gut 0,5 mm beträgt. Wenn wir *d* nach aussen verfolgen, sehen wir wieder eine stetige Höhezunahme; in der Fläche No. 14 ist er schon 3,5 mm hoch, aber hier tritt senkrecht unter *d*, und nur in sehr geringer Entfernung, ein neuer sehr niedriger Markstrahl auf, nur 0,5 mm hoch und im Tangentialschnitt ganz dünn. Dieser wird bald etwas höher, so dass in der Fläche No. 12 sein Oberrand mit dem Unterrande von *d* in gleicher Höhe und unmittelbar neben diesem gekommen ist. Hier haben wir also wieder den selben Fall wie bei *a*. In der Fläche No. 12 sehen wir nun einen scheinbar einheitlichen Markstrahl, durch wenige schieflaufende Fasern unterbrochen. Diese Unterbrechung tritt zuletzt noch auf in der Fläche No. 10. Im Scheibchen No. 9 vereinigt sich also der neue kleine Markstrahl mit dem höheren, über denselben gestellten. Inzwischen hat sich auch im Scheibchen No. 11 noch ein sehr niedriger Markstrahl hinzugefügt, der bereits im Scheibchen No. 8 mit dem grösseren verschmilzt.

Von der Fläche 9 an nach aussen zu sehen wir nun einen einheitlichen Markstrahl, der durch Zusammenfügung von drei niedrigen, aber der Höhe nach wachsenden Markstrahlen, entstanden ist, und beim Kambium eine Höhe von gut 5 mm erreicht.

Markstrahl *e* wächst anfänglich auch langsam, bis in der Fläche No. 16 sich ein neuer, etwa $\frac{3}{4}$ mm hoher Markstrahl zeigt, von *e* nur durch einige schieflaufende Fasern getrennt. Im Scheibchen No. 14 findet schon die Verschmelzung mit *e* statt. Wir haben hier mit derselben Erscheinung zu tun, wie bei den Markstrahlen *a* und *d*. In derselben Weise, wie es in der Fläche No. 11 bei *d* der Fall ist, grenzt auch hier der neu auftretende Markstrahl unmittelbar an *e*. Vom Scheibchen No. 14 an setzt sich der Markstrahl weiter nach aussen ungeteilt fort, mit Ausnahme einer kleinen Strecke. Nur von Fläche No. 11 bis No. 9 ist nämlich eine Unterbrechung durch schiefe Fasern zu beobachten. Dieser Markstrahl ist in seinem äussersten Teil gut 4 mm hoch geworden, so dass auch hier ein merklicher Höhenzuwachs zu konstatieren ist.

Wir haben nun in allen den 5 untersuchten Markstrahlen eine deutliche Höhenzunahme gesehen nach dem Kambium zu. Sie beträgt während ungefähr 45 Jahre etwa das 4-bis 5-fache der Höhe des eben gebildeten Markstrahls. Wir wissen nun aber auch, dass die definitive Höhe auf zwei Weisen zustande kommen kann, nämlich entweder dadurch, dass ein einziger Markstrahl einfach der Höhe nach wächst, oder durch Zusammenfügung und Verschmelzung von zwei oder mehr niedrigen Markstrahlen. Im letzteren Fall ist sowohl in den noch nicht zusammengeschmolzenen Teilen, wie in dem durch Verschmelzung entstandenen Teil auch eine Höhenzunahme nach dem Kambium zu beobachten. Die Markstrahlen verlaufen ziemlich genau horizontal im Stamm. Wie aus meinen Figuren ersichtlich ist, sind sie aber alle in derselben Weise in vertikaler Richtung etwas gebogen. Ob sie nach unten oder nach oben gebogen sind, war nicht mehr zu bestimmen, denn an der Querscheibe war es nicht zu sehen, welche Seite nach oben zugekehrt gewesen war.

In zwei der untersuchten Markstrahlen, in *a* und *e* sahen wir bestimmte Strecken horizontal unterbrochen durch eine im Tangentialschnitt schieflaufende, dünne Faserschicht.

Es wäre nun denkbar, dass wir hier entweder zu tun hätten mit einer sich in radiale Richtung einheitlich fortsetzender Faser*schicht*, wie ich in den Figuren gezeichnet habe, oder mit stellenweise auftretenden, den Markstrahl schief durchsetzenden Faserbündeln. Die erste Auffassung aber ist gewiss richtig, denn ich habe Beispiele radial sich gleichmässig weit fortsetzender Unterbrechungen wahrnehmen können in einem sehr weit radial blossgelegtem Markstrahl. Die Buchenquerscheibe nämlich, aus welcher das Holzprisma ausgesägt worden war, fing beim Eintrocknen nach einiger Zeit an, sich radial zu spalten, wodurch grosse Strecken von Markstrahlen in den Radialflächen zu Tage kamen. Man konnte hier sehr deutlich die Unterbrechungen sehen und hier ergab sich, dass sie verursacht werden durch radial sich weit fortsetzende Faserbänder.

In der Figur 3, Tafel IV, einer Photographie eines Markstrahls, der durch Eintrocknen des Holzes an den Tag gekommen war, sehen wir einen solchen Fall vorgeführt. Die linke Seite der Figur ist nach dem Kambium zugekehrt. Bei C finden wir das jüngste Holz, das an das Kambium grenzte; der breite dunkle Streif ist der Markstrahl in Radialansicht. Ueber eine Strecke von gut 10 cm vom Kambium abgerechnet ist er blossgelegt, in der Figur von C bis M; weiter nach rechts, also nach dem Marke zu, wird er noch durch Holzfasern bedeckt. Von F bis M sehen wir nun deutlich eine horizontal verlaufende Unterbrechung, die zustande kommt durch Fasern, die hier den Markstrahl durchsetzen. Diese Fasern bedecken zwischen F und M noch teilweise den oberen Teil des Markstrahls und verlaufen hinter dem unteren Teil nach unten; unmittelbar

rechts von F, wo die Fasern abgebrochen sind, ist dieses Verhalten deutlich zu sehen; so auch bei M, wo ich die den oberen Teil des Markstrahls bedeckenden Fasern weggekratzt habe.

In dieser Photographe ist weiter sichtbar, dass die Höhe des Markstrahls etwas wächst nach dem Kambium zu; zudem ergibt es sich hier, dass der Verlauf ein sehr regelmässiger ist: die Höhe zeigt keine plötzliche Aenderungen, ebensowenig wie in den übrigen durch Spaltung der Querscheibe zu Tage gekommenen Markstrahlen. Die Methode der Messung in Tangentialflächen, die 1 cm voneinander entfernt sind, ist also ohne Zweifel zuverlässig.

Quercus Robur L.

Hier wurde dasselbe Verfahren angewendet wie oben bei *Fagus sylvatica*. Eine Querscheibe einer ungefähr 360-jährigen *Eiche* mit einem Durchmesser von 77 cm war im Botanischen Laboratorium in Groningen vorhanden. Diese Scheibe stammte von einer *Eiche* aus Fontainebleau und war vom Herrn Prof. Dr. J. C. Kapteyn dem Laboratorium geschenkt worden. Aus dieser Scheibe wurde ein radiales rechteckiges Prisma ausgesägt, dessen Endflächen 3,6 cm breit und 5,5 cm hoch waren, das aber nicht bis zum Mark und auch nicht ganz bis zum Kambium reichte. Die Länge des Prismas, also die Ausdehnung in radiale Richtung betrug nur 11 cm, trotzdem enthielt es nicht weniger als 140 Jahresringe, nämlich Jahresring No. 195 bis No. 335.

Das Prisma wurde mit der Säge in 18 tangentiale Scheibchen geteilt von nahezu gleicher Dicke. Die nach der Rinde gekehrten Tangentialflächen zeigten sehr deutliche, hohe, Markstrahlen; fünf derselben, mit den Buchstaben *a* bis *e* bezeichnet, wurden gemessen.

In Tafel III finden wir die Resultate dieser Höhenmes-

sungen in natürlicher Grösse zusammengestellt in den Figuren *a* bis *e*.

Die rechte Seite der Figuren ist dem Mark zugekehrt. Die Zahlen unter den Figuren entsprechen den Nummern der Tangentialflächen in welchen die betreffenden Messungen statt fanden.

Was die Markstrahlen *d* und *e* betrifft, sehen wir nichts besonderes; in der innersten Tangentialfläche haben sie eine Höhe von 6,5 mm. Nach aussen zu wachsen sie nur äusserst langsam, bis sie in Tangentialfläche No. 1 eine Höhe von 9 bezw. 13,5 mm erreichen; diese Zunahme ist also in nahezu 140 Jahren zustande gekommen.

Markstrahl *b* ist etwas abweichend gestaltet insofern in seinem äusseren Teil die Höhe etwas schneller steigt. Anfänglich, in der Fläche No. 18, ist *b* 15,5 mm hoch; in der Fläche No. 1 beträgt die Höhe 26 mm.

Markstrahl *c* ist viel später entstanden als die oben genannten. Es muss sein Anfang im zehnten Scheibchen liegen, denn erst in der zehnten Tangentialfläche tritt er auf mit einer Höhe von 8 mm. In der Fläche No. 9 finden wir die Höhe abgenommen bis 5,5 mm, aber nun wächst sie fortwährend und misst in der Fläche No. 1 12 mm. Den Markstrahlen *b*, *d* und *e* gegenüber ist die letztere Höhenzunahme beträchtlich zu nennen.

Der Markstrahl *a* ist ein sehr hoher; in der Tangentialfläche No. 18 ist er bereits 21,5 mm hoch und nimmt auch noch ziemlich an Höhe zu. In der Fläche No. 6 aber ist eine Unterbrechung aufgetreten in der Form von einigen schief laufenden Fasern. Im weiter nach aussen folgenden Teil dieses Markstrahls setzt sich diese Unterbrechung fort, während die 2 Teilstücke sich etwas aus der ursprünglichen radialen Markstrahlfläche ausbiegen. Beide Teilstücke werden nach aussen höher, so dass die Ränder, die durch die schiefen Fasern getrennt sind,

schliesslich ein wenig aneinander vorbeischieben, wie zu sehen ist in der Figur, wo die gestrichelte Linie andeutet, dass der untere Rand des oberen Markstrahlteils hinter der Zeichenfläche liegt. Auch in der äussersten Fläche No. 1 ist im oberen Teil noch eine neue Unterbrechung sichtbar, so dass nun der Markstrahl in 3 Stücke zerlegt ist, die aber in den Tangentialflächen noch deutlich wie zusammengehörend erscheinen. Die Höhe dieses Komplexes hat 40,5 mm erreicht; in 140 Jahren hat sie sich nahezu verdoppelt.

Das Resultat der Messungen ist also auch hier wieder der Beweis der Höhenzunahme der Markstrahlen beim Wachsen des Baumes, gleichwie bei *Fagus sylvatica.* Die Unterbrechungen zeigen sich hier auf dieselbe Weise wie bei *Fagus.*

Wie aus den Figuren hervorgeht, zeigen die Markstrahlen in den Scheibchen No. 1, 2 und 3 eine fast konstante Höhe. Es liegt dieser äusserste Teil der Markstrahlen zwischen dem 320. und 335. Jahresring. Weil die Jahresringe 336 bis 360 in der Scheibe eine nur 1,5 cm dicke Holzschicht bildeten, ist es wohl wahrscheinlich, dass wir in den Figuren die maximale Höhe der Markstrahlen erreicht sehen. Die Frage liegt nun nahe, ob auch andere Elemente des Holzes an derselben Stelle eine maximale Dimension zeigen.

Als leicht isolierbare Elemente habe ich die Libriformfasern gewählt, um durch eine statistische Untersuchung deren Länge zu bestimmen. Aus jedem der Scheibchen No. 1, 4, 7, 10, 14 und 16 wurden 300 Libriformfasern gemessen. Die Präparate wurden in der folgenden Weise angefertigt. Holzsplitter aus den eben genannten Scheibchen wurden im Wasser liegend luftleer gepumpt und dann 2 Tage im Wasser gelassen um die Elemente etwas aufzuweichen. Dann wurden sie in siedender konzentrierter Sal-

petersäure mazeriert, und sobald sie gänzlich in ihre Bestandteile auseinander gefallen waren, wurden sie in viel kaltes Wasser ausgegossen. Die Libriformfasern sinken im Wasser.

Von diesen Libriformfasern wurden mikroskopische Preparate in Glycerin angefertigt. Das Messen der Länge geschah mit Objektiv a a und Mikrometerocular 2 von Zeiss, Stativ VIa mit aufsetzbarem beweglichem Objekttisch.

Nach der von T. Tammes[1]) beschriebenen Methode wurden die Messungen aufgezeichnet und die Mediane M und der Variabilitätskoeffizient $\frac{Q}{M}$ bestimmt.

Das Ergebnis dieser Messungen war, dass die längsten Libriformfasern im Scheibchen No. 10, das heisst ungefähr im 250. Jahresringe liegen, jedenfalls zwischen den 220. und 270. Nach dem Kambium zu findet eine starke Abnahme der Fasernlänge statt, während nach dem Marke zu die Länge zuerst abnimmt, später aber wieder grösser wird. Es ist also kein Zusammenhang zu konstatieren zwischen der Veränderung in der Höhe der Markstrahlen und der Libriformfasernlänge.

Leicht übersichtlich werde ich die gefundenen Zahlen anführen in einer Tabelle, wo M und $\frac{Q}{M}$ die Mediane bezw. der Variabilitätskoeffizient, aus 300 Messungen bestimmt, bedeuten.

Scheibchen:	No. 1	No. 4	No. 7	No. 10	No. 14	No. 16
M in μ:	893,3	1073,5	1096,3	1237,3	1053,4	1113,8
$\frac{Q}{M}$:	0,16719	0,15845	0,15744	0,16193	0,16266	0,16291

1) T. Tammes. Der Flachsstengel. Eine statistisch-anatomische Monographie. Natuurkundige Verhandelingen van de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen, Derde Verzameling, Deel VI, Vierde stuk, 1907, p. 39—41.

Eine Tatsache, die vielleicht nicht zufällig ist, sei hier noch mitgeteilt, nämlich dass die Jahresringe 250 bis 260 die breitesten sind in dem untersuchten Prisma; die grösste Länge der Libriformfasern fällt hier also wohl zusammen mit der grössten Breite der Jahresringe. [1])

Das Resultat meiner Untersuchungen ist sowohl bei *Fagus* wie bei *Quercus* ein fortwährend höher werden der kleinen Markstrahlen nach aussen. Dass bei steigendem Alter für eine Vermehrung des Markstrahlgewebes gesorgt wird, nämlich durch eine erhebliche Vergrösserung der *Anzahl* der kleinen Markstrahlen in den späteren Jahresringen, war schon längst bekannt. Nun sehen wir aber, dass auch die Vergrösserung der Markstrahlen selbst bei der Vermehrung dieser Gewebeart eine Rolle spielt. Es stehen diese Erscheinungen sehr wahrscheinlich in Beziehung mit der Tatsache, dass Assimilation und Transpiration ausgiebiger werden wenn die Baumkrone an Ausdehnung zunimmt. Die Pflanze bedarf eines immer grösseren Speicherraums für ihre Reservestoffe und vielleicht auch ist die Vermehrung des lebenden Gewebes unentbehrlich bei den höheren Ansprüchen, die der Baum der Saftsteigung stellt, wenn das Laub sich stets mehr entwickelt.

---

1) Von derselben Querscheibe, welcher mein Holzprisma entnommen war, ist auch vom Herrn Dr. J. J. Prins die Länge der Libriformfasern in einigen, zwar ausserhalb meines Primas fallenden Jahresringen bestimmt. Die Angaben findet man bei: Prins. De fluctueerende variabiliteit van microscopische structuren bij planten. Diss. Groningen, 1904, p. 38, 39. — Das Maximum der Libriformfaserlänge, von Prins gefunden, liegt auch in einer Zone von breiteren Jahresringen.

ABTEILING II.

Die grossen Markstrahlen.

Fagus sylvatica L.

Zur vorläufigen Orientierung wurde zuerst ein junger, entrindeter Zweig betrachtet. Das Alter des Zweiges war 13 Jahre, wie sich leicht durch Zählung der Jahresringe feststellen liess. Es wurde von der einen Seite des Zweiges das Holz weggeschnitten bis auf den ersten Jahresring, wodurch also die grossen Markstrahlen des ersten Jahres zu Tage kamen. In dem lebenden Holze aber zeigten die Markstrahlen sich nicht sehr deutlich; deshalb wurde die neu hergestellte Oberfläche mit Jodjodkalium benetzt; die stärkereichen Markstrahlen wurden nun blauschwarz und zeichneten sich recht schön gegen das hellgefärbte Holz ab. Viele Markstrahlen zeigten eine beträchtliche Höhe; z. B. 6,7 cm, 9,8 cm und 10 cm.

Die andere Seite des Zweiges, die nur von der Rinde beraubt war, zeigte keine so hohe Markstrahlen. Der höchste hier gemessene war nur 2,5 cm. Mehrere sah ich hier gerade übereinander gestellt und nur sehr wenig durch einige schief laufende Fasern voneinander getrennt; sie gehörten offenbar zusammen und wären sodann nur Teile solcher hohen Markstrahlen, wie wir im Holze des ersten Jahres gesehen haben. Die Höhe einer Reihe solcher offenbar zusammengehörenden Stücke betrug in einem Fall 12,2 cm.

Die Annahme einer Zersplitterung der grossen Markstrahlen liegt also nahe. Sie wurde richtig befunden durch eingehendere Messungen an den Scheibchen des Buchenholzprismas, wovon in Abteilung I die Rede war. Das letzte Tangentialscheibchen, No. 25, enthielt das Mark; die ge-

glättete Tangentialfläche dieses Scheibchens zeigte das Holz des 3. Jahres und darin sehr deutlich etliche grosse Markstrahlen wie hohe, dunkle Linien. Ein dieser Markstrahlen konnte noch in vier der weiter nach aussen liegenden Tangentialflächen verfolgt werden. Figur 1, Tafel IV gibt in zweimaliger Vergrösserung diesen Markstrahl, wie er in den 5 verschiedenen Flächen, deren Nummern unter der Figur angegeben sind, aussah. In der Fläche No. 25, in der Figur am meisten nach rechts, sehen wir nur einen Teil des Markstrahls; aber so weit er zu sehen ist, zeigt er sich ununterbrochen. Schon in der Fläche No. 24, im 7. Jahresringe, sind viele Unterbrechungen aufgetreten in der Gestalt von schief laufenden Holzfasern, die ganz wie oben bei den kleinen Markstrahlen, auch diesen Markstrahl durchsetzen, und ihn in 12 Stücke zerlegen, wobei alle diese Stücke noch sehr deutlich eine zusammenhängende Reihe bilden. In der nächsten Fläche No. 23, im 10. Jahresringe, finden wir die Zahl der Stücke bereits zu 25 gewachsen und zugleich diese seitwärts, das heisst in tangentiale Richtung, etwas auseinander gerückt. Die Flächen No. 22 und 21 zeigen den Markstrahl im 13. bezw. 15. Jahresringe in 27 Stücke verteilt. Das Auseinanderrücken der Teile ist zudem noch weiter fortgeschritten, ohne dass jedoch der Zusammenhang ganz verloren gegangen ist. Weiter nach der Rinde zu war dieser Markstrahl nicht mehr zu verfolgen, weil er hier seitwärts aus dem Holzprisma tritt.

In Figur 2 derselben Tafel sehen wir eine Photographie der Tangentialfläche No. 23 und darin den durch gM angedeuteten in 25 Stücke zersplitterten Markstrahl.

Solcher Reihen von Markstrahlen sind auch in weiter nach aussen liegenden Scheibchen mehrere zu beobachten und wenn man diese Reihen weiter nach der Rinde zu verfolgt, findet man, dass die zuerst noch deutliche Zusam-

mengehörigkeit der Markstrahlstücke immer undeutlicher wird, bis zuletzt diese Stücke ganz regellos zerstreut liegen und sich von den kleinen Markstrahlen nicht unterscheiden lassen.

Die Höhe einiger dieser Stücke, die durch Zersplitterung aus den ursprünglich so hohen Markverbindungen hervorgegangen und als *grosse Markstrahlen* zu bezeichnen sind, wurde weiter untersucht in derselben Weise wie bei den kleinen Markstrahlen.

In meinen Scheibchen gab es zwei grosse Markstrahlen, die ziemlich weit nach aussen, nämlich bis in die 15. bezw. 11. Tangentialfläche verfolgt werden konnten, bevor sie seitwärts aus dem Holzprisma traten. In den Figuren *f* und *g*, Tafel II, sehen wir diese Markstrahlen rekonstruiert. Schon in der Fläche No. 24 treten sie isoliert auf, *f* mit einer Höhe von etwa 4,5 mm, *g* gut 5 mm hoch. Die gestrichelte Vertikallinie in der Fläche No. 24 soll angeben, dass diese Markstrahlen sich bis an das Mark fortsetzen. Markstrahl *f* wird in der nächstfolgenden Fläche, No. 23, durch schief laufende Fasern in 3 Teile geteilt und diese Fasern setzen sich fort so weit der Markstrahl untersucht werden konnte. Die drei Teile bleiben unmittelbar übereinander verlaufen und bilden ein Komplex, das nach aussen zu nur sehr wenig an Höhe zunimmt, denn in der Fläche No. 15 hat es nur gut 6,5 mm erreicht.

Der Markstrahl *g* wird zuerst etwas niedriger, um von der Fläche No. 23 ab, wenn auch sehr wenig, höher zu werden. In der Fläche No. 22 tritt eine Unterbrechung auf durch schiefe Fasern. Die beiden Teile des Markstrahls werden etwas höher und biegen sich um ein weniges voneinander ab in tangentiale Richtung, so dass schon in Fläche No. 20 die aneinander grenzenden Ränder nicht mehr übereinander liegen, sondern aneinander vorbeigeschoben erscheinen. Dieser Zustand bleibt so weit der

Markstrahl untersucht worden ist. Das Komplex der beiden Teile ist in der Fläche No. 11 nur 4,5 mm hoch, also etwas niedriger als im Anfang. In der Figur ist angegeben, dass die Ränder übereinander greifen, indem der untere Rand des oberen Markstrahlteiles mit gestrichelter Linie gezeichnet ist; es deutet dies weiter an, dass dieser Rand hinter der Zeichenfläche gedacht werden soll.

Obwohl wir nun sehen, dass die Markstrahl*komplexe*, hervorgegangen aus der Zersplitterung eines grossen Markstrahls, der Höhe nach wenig variieren, ist es dennoch deutlich, dass auch hier das Markstrahlgewebe sich vermehrt beim Wachsen des Baumes. Die Ränder der Markstrahlen schieben bald aneinander vorbei, so dass die Höhe sämtlicher Stücke, die aus einer Markverbindung hervorgehen, schliesslich grösser werden muss als die ursprüngliche Höhe dieser Markverbindung. Dieses konnte ich auch bestätigen durch Messung der grossen Markstrahlen in den Tangentialflächen No. 21 bis 25 (Figur 1 Tafel IV), wovon bereits oben die Rede war. In der Fläche No. 25 war der grosse Markstrahl nur zum Teil zu verfolgen; wir dürfen jedoch annehmen, dass er ununterbrochen und sodann in dieser Fläche 6,4 cm hoch war. Die Höhe der sämtlichen aus ihm hervorgegangenen Stücke ist nun in der Fläche No. 24 noch 6,4 cm, wächst von hier ab aber sehr regelmässig und erreicht in der Fläche No. 21 7,9 cm. Die Höhenzunahme der sämtlichen Stücke beträgt also 1,5 cm. Die mittlere Höhenzunahme für die 27 grossen Markstrahlen der Fläche No. 21, verglichen mit ihrer Gesamthöhe in der Fläche No. 25, das heisst die Zunahme vom 3. bis zum 15. Lebensjahre des *Buchen*stammes, beträgt also etwa 0,6 cm. Dieser Betrag ist nahezu derselbe wie die Höhenzunahme der *kleinen Buchen*markstrahlen in derselben Zeit.

Aristolochia Sipho L'Herit.

Zur Untersuchung lag ein ziemlich reiches Material vor, nämlich bis 36 Jahre alte Stämme. Diese Stämme unterscheiden sich durch ihren Bau sehr stark vom *Buchen*holz. Auffallend ist es vor allem, dass *Aristolochia*stämme von nicht weniger als 5 cm Dicke noch leicht aus freier Hand tordiert werden können; *Buchen*stämme von derselben Dicke aber sind sehr fest und lassen sich nicht tordieren. Im Folgenden wird deutlich gemacht werden, dass die Ursache dieses Unterschiedes wohl wenigstens zum Teil in den grossen Markstrahlen zu suchen ist.

Bei *Aristolochia* ist indessen die Untersuchung bei weitem nicht so leicht, wie bei den alten Stämmen der *Eiche* und *Buche*, denn die grossen Markstrahlen ersterer Pflanze sind bisweilen sehr hoch und der starken Tordierung des Stammes dieser Liane wegen, meist schwer zu verfolgen.

Die *Aristolochia*stämme, die mir zur Verfügung standen, wurden zuerst entrindet und die Oberfläche dann mit Phloroglucinlösung und konzentrierter Salzsäure benetzt. Auf diese Weise kommen die Markstrahlen recht deutlich, wie weisse Bänder im rotgefärbten Holz zum Vorschein, und jede Unterbrechung zeichnet sich so scharf ab, dass sie nicht übersehen werden kann. Durch Querschnitte habe ich mich jedesmal davon überzeugt, dass ich mit einem grossen Markstrahl zu tun hatte.

Ich werde im folgenden nun einige, an verschiedenen *Aristolochia*zweigen gemachten Beobachtungen über die Höhe und die Unterbrechungen der grossen Markstrahlen mitteilen.

1. Ein 8-jähriges Stammstück, dessen Holzschicht vom Mark bis zum Kambium 6 mm dick war.

In einem 26,5 cm langem Internodium befand sich im äussersten Holz ein grosser Markstrahl von 23 cm Höhe, ohne Unterbrechungen.

2. An das eine Ende des eben genannten Markstrahls und von diesem nur durch etliche schieflaufende Fasern getrennt, grenzte ein neuer grosser Markstrahl, der nur 3,3 cm hoch war.

3. An einer anderen Stelle desselben Stammes ein 3,4 cm hoher Markstrahl, mit einer Unterbrechung, die sich, wie ein Querschnitt an dieser Stelle lehrte, nicht weit nach innen fortsetzte.

4. Ein Stammstück mit 8 mm dicker Holzschicht.

In diesem Stück fand ich eine Reihe von 7 unmittelbar senkrecht übereinander stehenden grossen Markstrahlen im äussersten Holz. Diese Reihe war 27 cm hoch und gab den Eindruck eines einheitlichen Markstrahls, in dem einige Unterbrechungen durch schieflaufende Fasern aufgetreten waren, gleich wie wir es schon bei der *Buche* gesehen haben. Um das Verhalten dieser Unterbrechungen weiter zu untersuchen, wurde nun eine tangentiale Holzschicht von 2 mm Dicke entfernt. Nach Rotfärbung der neu entstandenen Oberfläche des Holzes mittels Phloroglucin und Salzsäure zeigte es sich, das 3 der 6 vorher beobachteten Unterbrechungen verschwunden waren. Auch die 3 übrigen reichten nicht bis zum Mark, wie ich sehen konnte in Querschnitten, die an den Stellen dieser Unterbrechungen durch den Stamm geführt wurden.

5. Ein 28-jähriges Stammstück.

In einem 24 cm langem Internodium fand ich senkrecht übereinander und nur an einer Stelle durch wenige schiefe Fasern getrennt, 2 sehr hohe grosse Markstrahlen. Sie waren zusammen 19 cm hoch und stellten offenbar nur 2 Teile einer einzigen Markverbindung dar. Durch weitere Untersuchung wurde dieses bestätigt, denn es ergab sich, dass die Unterbrechung in dem 19 cm hohen Markstrahl bereits 2 mm vom Mark ab entstanden war.

6. Ein 36-jähriger Stamm mit einer Holzschicht von 27

mm Dicke wurde benutzt zur Untersuchung mehrerer Unterbrechungen in 3 grossen Markstrahlen. Im äussersten Holz wurden die Unterbrechungen jedes Markstrahls gezählt. Nachdem nun eine dünne Holzschicht mit einem Rasiermesser entfernt worden war, wurde diese Zählung wiederholt, u. s. w. Auf diese Weise musste es natürlich zu Tage kommen, in welcher Tiefe die Unterbrechungen entstanden waren.

Die Resultate dieser Zählung finden sich in der untenstehenden Tabelle, wo die Markstrahlen mit I, II und III angegeben sind. Deren Höhe war bezw. 7,7, 3,2, und 8,4 cm. In der linken Spalte der Tabelle ist angegeben, in welcher Tiefe, von dem Kambium ab gerechnet, die Zählung vorgenommen wurde.

ANZAHL DER UNTERBRECHUNGEN.

	I. Höhe = 7,7 cm.	II. Höhe = 3,2 cm.	III. Höhe = 8,4 cm.
Im äussersten Jahresringe	6	4	5
4 mm	4	0	2
8 mm	1	0	0
12 mm	1	0	0
16½ mm	2	0	0
19 mm	2	0	0
25 mm	0	0	0

Es ergibt sich also, dass die meisten Unterbrechungen, mit denen der *Buche* verglichen, ziemlich spät entstanden sind. Je weiter vom Mark ab man untersucht, desto mehr Unterbrechungen findet man. Dies ist beim ersten Anblick auch leicht zu sehen, wenn man alte Stämme mit jüngeren vergleicht. In diesen sieht man bedeutend höhere Markstrahlen, als in jenen.

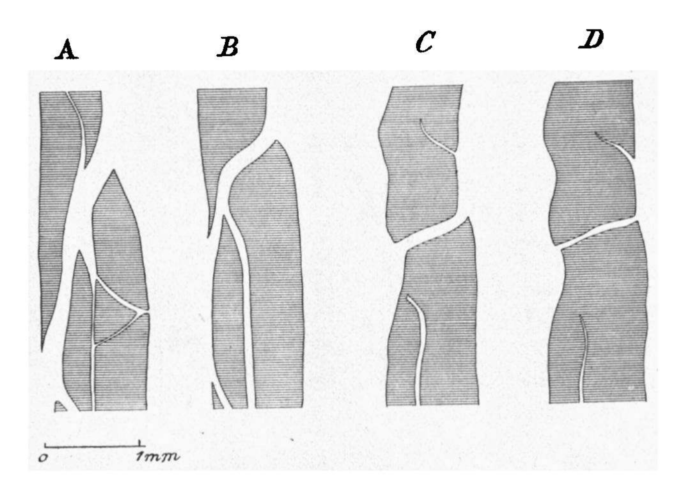
Die grossen Markstrahlen von *Aristolochia Sipho* verhalten sich somit, der Hauptsache nach, wie jene der *Buche*; nur treten bei der ersten die Unterbrechungen verhältnissmässig spärlicher auf. In beiden Fällen aber können wir die grossen Markstrahlen vergleichen mit den Zähnen einer Kammes. Die Zähne sind an der Markverbindung befestigt und nach der Periferie des Stammes gerichtet. Bei *Aristolochia* bleiben sie, wie wir schon gesehen haben, gerade übereinander stehen. Es hat dies zur Folge, dass der ganze *Aristolochia*stamm von grossen, zarten, Gewebeplatten durchsetzt bleibt, wodurch er eine bedeutende Tordierungsfähigkeit behält. Bei der *Buche* jedoch werden die grossen Markstrahlen fächerartig in tangentialer Richtung ausgebreitet; ohne Zweifel wird dies zur Festigkeit des Stammes beitragen.

In welchem Grade ein grosser Markstrahl durch mehrere Unterbrechungen zersplittert werden kann zeigt uns eine Untersuchung bei

Aristolochia ornithocephala Hook.

Auf der Oberfläche eines entrindeten Zweigstückes mit 5 mm dicker Holzschicht wurde eine Unterbrechung in einem grossen Markstrahl gefunden. Durch diese Stelle wurden nun von aussen nach innen gehend 4 mikrosko-

pische Tangentialschnitte geführt. Der 4. Schnitt lag 2 mm weiter nach den Marke zu als der erste. Die vier Tangentialschnitte wurden mit Jodchloralhydrat behandelt, wodurch sich die stärkereichen Markstrahlzellen blau-schwarz färbten, und dann mit Hilfe des Zeichenprismas bei schwacher Vergrösserung gezeichnet.



Aristolochia ornithocephala Hook.
A—D: Vier Tangentialschnitte durch einen grossen Markstrahl in verscheidener Tiefe.

In A der obenstehenden Textfigur sehen wir die Unterbrechung im äussersten, in D dieselbe im innersten Tangentialschnitt. Es ist hier also zu sehen, wie der zuerst fast quergestellte Unterbrechung nach aussen zu immer schräger und weiter wird. Zudem treten hier nach aussen neue Unterbrechungnn auf. A zeigt eine so grosse Uebereinstimmung mit den Figuren von *Casuarinen*markstrahlen bei Göppert[1]) und Blits[2]), dass wir hier ohne

1) Göppert. l. c.
2) Blits. l. c.

Zweifel mit derselben Erscheinuug zu tun haben. Ist dies wirklich der Fall, so würde der Beweis geliefert sein, dass Göppert und Sanio Recht haben, wenn sie auch bei *Casuarinen* von einem einzigen *zersplitterten* Markstrahl reden.

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen.

1. Die *kleinen* Markstrahlen zeigen in allen untersuchten Fällen eine Höhenzunahme nach dem Kambium zu.
2. Es treten in den *kleinen* Markstrahlen oft Unterbrechungen durch schieflaufende Faserschichten auf, die sich bisweilen weit in radiale Richtung fortsetzen.
3. Anfänglich nur durch wenige Fasern getrennte *kleine* Markstrahlen, die gerade übereinander stehen, können weiter nach dem Kambium zu ganz verschmelzen und sodann einen einzigen Markstrahl darstellen.
4. Es konnte kein Zusammenhang konstatiert werden zwischen den Veränderungen in der Höhe der *kleinen* Markstrahlen und in der Länge der Libriformfasern von *Quercus Robur* L.
5. Die Markverbindungen lösen sich auf in *grosse* Markstrahlen, die wie bei *Fagus sylvatica* L. in tangentialer Richtung immer weiter auseinander biegen, oder wie bei *Aristolochia Sipho* L'Hérit, selbst in älteren Stämmen noch gerade übereinander stehen.
6. Die Höhenzunahme der *kleinen* Markstrahlen der *Buche* ist nahezu gleich der der *grossen* in derselben Zeit.

ERKLÄRUNG DER TAFELN.

Tafel II. Fagus sylvatica L. Ein 56-jähriger Stamm.

Fig. a—e. Kleine Markstrahlen; *a* und *e* mit Unterbrechungen. Die rechte gestrichelte Vertikallinie entspricht dem Mark. Die Zahlen geben die Nummern der Tangentialflächen an. Natürliche Grösse.

Fig. f und *g*. Grosse Markstrahlen mit Unterbrechungen. Sie setzen sich weiter nach dem Marke zu fort, womit sie zusammenhangen. Natürliche Grösse.

Tafel III. Quercus Robur L. Jahresringe no. 195—335 aus einem 360-jährigen Stamm.

Fig. a—e. Kleine Markstrahlen; *a* mit Unterbrechungen. Die rechte Seite der Figuren dem Mark zugekehrt. Die Zahlen geben die Nummern der Tangentialflächen an. Natürliche Grösse.

Tafel IV. Fagus sylvatica L.

Fig. 1. Zersplitterung eines grossen Markstrahls, in 5 aufeinanderfolgenden Tangentialflächen (durch die Nummern angedeutet). No. 25 in der Nähe des Marks. Vergrösserung 2-mal.

Fig. 2. Photographie der Tangentialfläche No. 23, mit dem zersplitterten grossen Markstrahl gM der *Fig. 1.* Etwas verkleinert.

Fig. 3. Photographie eines kleinen Markstrahls, in einer radialen Spaltungsfläche des Stammes. Die linke Seite der Figur stimmt mit der Aussenseite des Holzes überein. Unterbrechung von F bis M durch Fasern, die den oberen Teil des Markstrahls teilweise bedecken. Bei M der obere Teil blossgelegt durch Wegkratzen der Fasern. Rechts von M der Markstrahl nicht sichtbar. Etwas verkleinert.

a

1 4 11 13 14 18 20 22

b

1 22

c

1 24

e

1 9 11 15 16 23

d

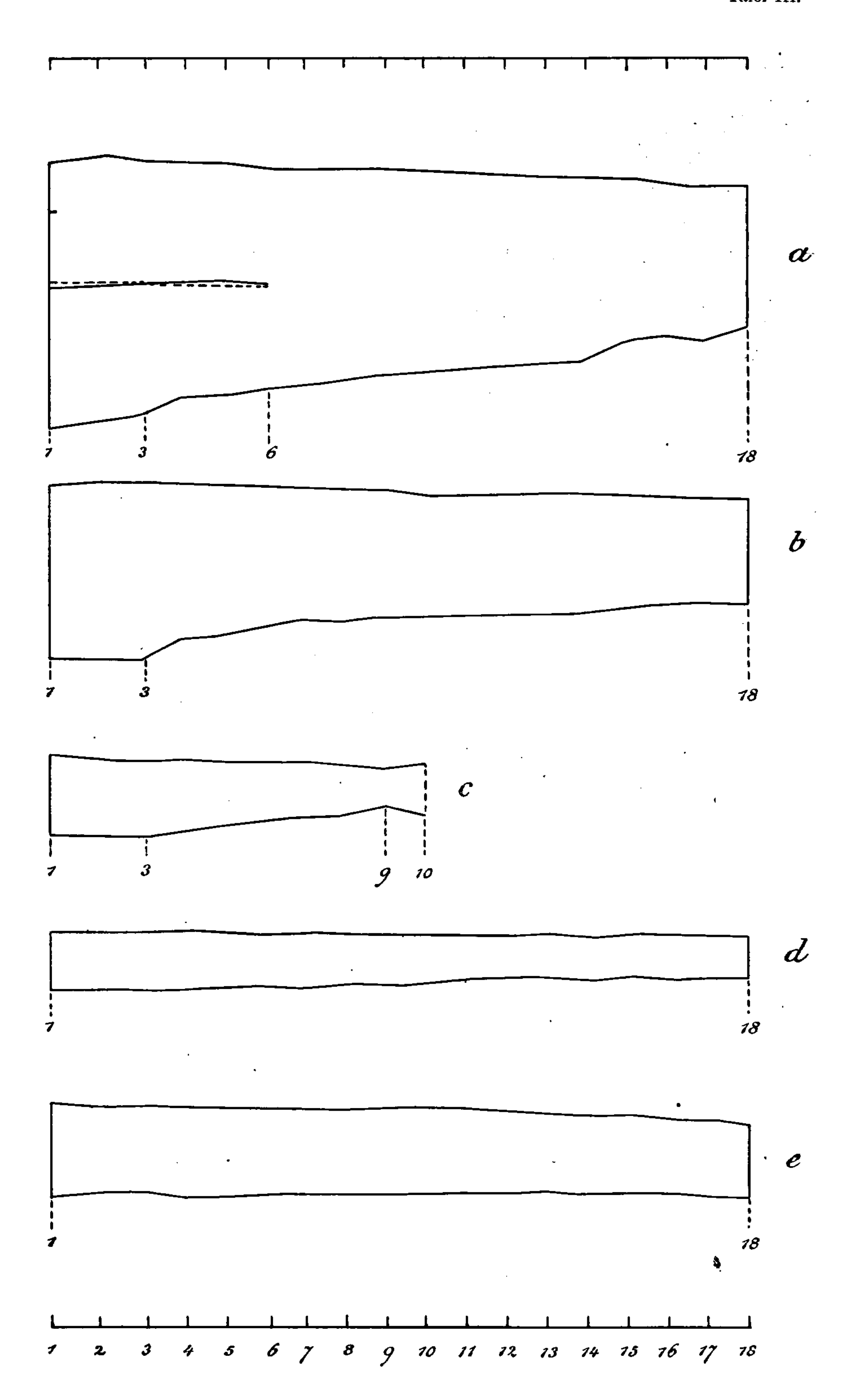
1 9 10 11 12 14 23

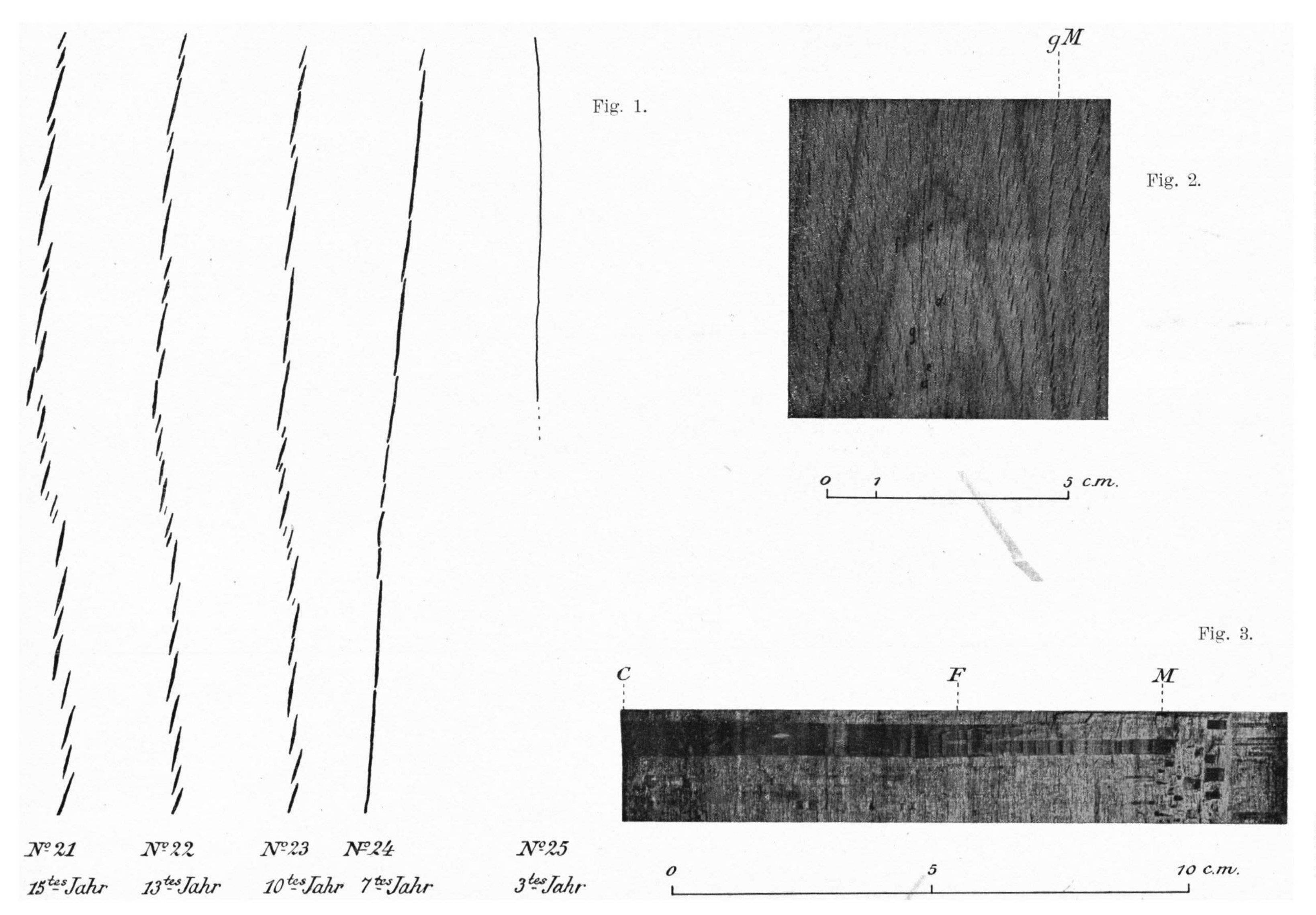
g

11 21 22 24

f

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25


a
1
3
6
18
b
1
3
18
c
1
3
9
10
d
1
18
e
1
18
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
gM
0
1
5 c.m.
C
F
M
0
5
10 c.m.
No 21 15tes Jahr
No 22 13tes Jahr
No 23 10tes Jahr
No 24 7tes Jahr
No 25 3tes Jahr